

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 199 10 664 A 1

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 01 N 9/00**  
F 02 D 43/04  
B 01 D 53/94

⑯ Anmelder:

Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

⑯ Erfinder:

Pott, Ekkehard, 38518 Gifhorn, DE; Hahn, Hermann,  
38165 Lehre, DE

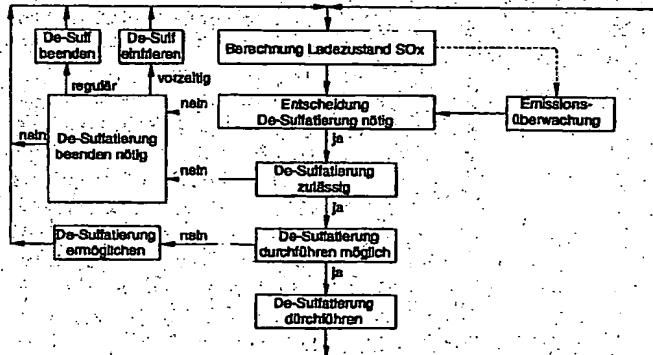
⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 197 31 624 A1  
DE 197 31 131 A1  
EP 08 91 806 A2  
EP 07 61 286 A2  
EP 06 25 633 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Verfahren zur De-Sulfatierung eines NOx-Speicherkatalysators

⑯ Es wird ein Verfahren zur De-Sulfatierung eines einer mager betriebenen Brennkraftmaschine nachgeschalteten NOx-Speicherkatalysators beschrieben, bei dem der Beladungszustand des Katalysators mit Schwefel bestimmt und mit einer vorbestimmten maximal zulässigen Schwefelbeladung verglichen wird. Bei Überschreitung dieses Wertes wird durch Überprüfung sicherheitsrelevanter Bauteile auf ordnungsgemäße Funktionsweise und der aktuellen Fahrsituation auf Einhaltung vorbestimmter Fahrparameter zunächst die Zulässigkeit einer De-Sulfatierung geprüft. Zudem wird geprüft, ob durch Einhaltung vorbestimmter De-Sulfatierungsparameter die Möglichkeit zur Durchführung einer De-Sulfatierung gegeben ist. Bei Zulässigkeit einer De-Sulfatierung werden gegebenenfalls die erforderlichen De-Sulfatierungsparameter eingestellt und es wird eine De-Sulfatierung eingeleitet, die solange durchgeführt wird, bis entweder ein vorbestimmter De-Sulfatierungsgrad erreicht ist oder die aktuellen Ergebnisse der Zulässigkeitsprüfung einen vorzeitigen Abbruch oder eine Unterbrechung der De-Sulfatierung erforderlich machen. In diesem Fall wird die De-Sulfatierung in Abhängigkeit von dem bereits erreichten De-Sulfatierungsgrad entweder bei erneutem Vorliegen der Zulässigkeitsvoraussetzungen wieder aufgenommen oder es erfolgt, wie bei einer regulären Beendigung des De-Sulfatierungsvorgangs, durch Rückkehr zu dem erstgenannten Verfahrensschritt eine Wiederholung des Verfahrensablaufs. Zusätzlich hierzu erfolgt ...



DE 199 10 664 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur De-Sulfatierung eines einer mager betriebenen Brennkraftmaschine nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein entsprechendes Verfahren ist aus den deutschen Patentanmeldungen 198 47 875.5 und 198 47 874.7 bekannt, deren Offenbarungsgehalt voll inhaltlich in die vorliegende Beschreibung aufgenommen wird. Es dient zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen Funktionsweise des Katalysators durch rechtzeitige und wirkungsvolle De-Sulfatierung, ohne daß es hierbei zu einer spürbaren Veränderung des Betriebsverhaltens der zugeordneten Brennkraftmaschine kommt.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht in einer Verbesserung dieses bekannten Verfahrens im Hinblick auf eine zuverlässige Erfassung und rechtzeitige Behebung von Unregelmäßigkeiten der Katalysatoraktivität und eine Minimierung der erforderlichen De-Sulfatierungsvorgänge zur Verringerung der thermischen Belastung des Katalysators und der erforderlichen Eingriffe in das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine.

Diese Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren erfindungsgemäß durch eine Emissionsüberwachung des aus dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator ausströmenden Abgases gelöst, wobei insbesondere dessen Stickoxidgehalt mittels eines dem Katalysator nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Sensors gemessen und zur Bestimmung von Unregelmäßigkeiten der Katalysatoraktivität mit einer das normale Betriebsverhalten des Katalysators charakterisierenden, vorbestimmten maximal zulässigen Stickoxidemission verglichen wird, die beispielsweise über Modellrechnungen oder Kennfelder aus den Betriebsbedingungen bestimmt wird.

Bei Überschreitung einer vorbestimmten maximal zulässigen Abweichung zwischen der gemessenen und der vorbestimmten Stickoxidemission oder beim Auftreten eines vorbestimmten charakteristischen Abweichmusters ist von einer Funktionsstörung oder Schädigung des Katalysators auszugehen, zu deren Behebung unabhängig von der aktuellen Schwefelbeladung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators eine vorzeitige De-Sulfatierung eingeleitet wird. Die erkannte Schädigung wird hierbei zusammen mit der aktuellen prognostizierten oder berechneten und der gemessenen Schwefelbeladung an eine zugeordnete OBD-Kontrolleinrichtung weitergeleitet. Die Toleranzschwelle für die Detektion einer Katalysatorschädigung ist hierbei unterhalb der OBD-relevanten Schädigungsgrenzen angesiedelt, damit "Reparaturaßnahmen" für Katalysatordefekte, die beispielsweise auf einmaliges Tanken hochverschwefelter Kraftstoffe zurückgeführt werden können, noch mit Erfolg durchführbar sind.

Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante müssen die erwähnten Abweichungen zumindest für eine bestimmte Zeitdauer auftreten, bevor eine vorgezogene De-Sulfatierung eingeleitet wird.

Wenn die gemessenen Stickoxidemissionen die vorbestimmte prognostizierte Stickoxidemission jedoch um zumindest einen bestimmten Betrag oder Schwellenwert unterschreiten, wird eine gegebenenfalls erforderliche De-Sulfatierung auf Grund einer berechneten oder prognostizierten unzulässig hohen Schwefelbeladung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators zumindest bis zum Überschreiten des Schwellenwertes, insbesondere jedoch bis zum Erreichen des vorbestimmten maximal zulässigen Stickoxidemission, oder bis zum Auftreten des vorbestimmten charakteristischen Abweichmusters hinausgezögert, um unnötige Entschweflungsvorgänge zu unterdrücken und die damit verbundene thermische Belastung des Katalysators zu minimieren. In

diesem Fall ist von einem Betrieb mit schwefelarmem Kraftstoff auszugehen, d. h. ein Kraftstoff, dessen Schwefelgehalt wesentlich, insbesondere um mehr als 50%, unter dem Schwefelgehalt des für der Modellbildung zugrundegelegten Kraftstoffs liegt, bei dem entsprechend weniger De-Sulfatierungsvorgänge erforderlich sind. Die Unterdrückung von De-Sulfatierungsvorgängen erfolgt hierbei vorzugsweise erst dann, wenn die erwähnten Abweichungen von der prognostizierten Stickoxidemission zumindest für eine bestimmte Zeitspanne auftreten.

Bevorzugte Ausführungsformen dieses insbesondere für direkteinspritzende Ottomotoren oder Dieselmotoren geeigneten erfindungsgemäßen Verfahrens sind den zugehörigen Unteransprüchen zu entnehmen.

Das erfindungsgemäße Verfahren mit all seinen Verfahrensvarianten ermöglicht auf Grund der kontinuierlichen Überwachung der Katalysatoraktivität eine Optimierung des De-Sulfatierungszeitpunktes und eine Optimierung der erforderlichen Anzahl an De-Sulfatierungsvorgängen durch vorgezogene Einleitung einer De-Sulfatierung bei Erkennung eines schwefelbedingten Katalysatordefektes und durch Unterdrückung überflüssiger De-Sulfatierungen bei ordnungsgemäßer Funktionsweise trotz prognostizierter hoher Schwefelbelastung. Die Durchführung der erforderlichen De-Sulfatierungsvorgänge wird somit auch ohne Verfügbarkeit eines den Schwefelgehalt des jeweils verwendeten Kraftstoffs oder des entstehenden Abgases messenden Sensors automatisch an den aktuellerweise vorhandenen Schwefelgehalt angepaßt, so daß überflüssige Eingriffe in das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine und des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators weitgehend unterbleiben.

Weitere Merkmale und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich nicht nur aus den zugehörigen Ansprüchen – für sich und/oder in Kombination – sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit den zugehörigen Zeichnungen. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 anhand eines Flußdiagramms die Bestimmung der Temperatur und der Schadstoffumsetzung in einem Vorkatalysator und

Fig. 3 in schematischer Darstellung eine einem Motor nachgeschaltete Abgasreinigungsvorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Ausgangspunkt für das erfindungsgemäße Verfahren ist die kontinuierliche Bestimmung des Beladungszustandes eines einer mager betriebenen Brennkraftmaschine, wie ein direkteinspritzender Ottomotor oder ein Dieselmotor, nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators mit Schwefel. Für Lambda-Werte größer oder gleich einem dem Beginn der Schwefeleinlagerung entsprechenden Lambda-Schwellenwert und Katalysatortemperaturen unterhalb der Entschwefelungstemperaturschwelle wird der Beladungszustand näherungsweise zunächst auf bekannte Art und Weise einfach über die sich aus dem kumulierten Kraftstoffverbrauch seit der letzten De-Sulfatierung ergebende Schwefel-Rohemission berechnet, da vereinfachend von einer sehr hohen Effizienz nahe 100% bei der Schwefeleinlagerung und einem zu vernachlässigenden Abbau des eingelagerten Schwefels bei den intermittierend durchgeföhrten NO<sub>x</sub>-Regenerationen ausgegangen werden kann. Die so berechneten Näherungswerte werden dann zur Bestimmung der tatsächlich gespeicherten SO<sub>x</sub>-Masse erfindungsgemäß noch über Korrekturkennfelder oder Korrekturkennlinien für die Katalysatortemperatur, die Raumgeschwindigkeit/den Abgasmassenstrom, die gespeicherte NO<sub>x</sub>-Masse, die gespeicherte SO<sub>x</sub>-Masse und den Lambda-Wert korrigiert, wobei sich Abwei-

chungen von bis zu etwa 60% von den über den kumulierten Kraftstoffverbrauch ermittelten Näherungswerten ergeben können. Da gegenwärtig noch kein Sensor zur direkten Bestimmung des Schwefelgehaltes im Kraftstoff bzw. Abgas verfügbar ist, wird zur Gewährleistung einer hinreichend häufigen De-Sulfatierung von einem gesetzlich maximal zulässigen Schwefelgehalt im Kraftstoff ausgegangen. Es sei jedoch bemerkt, daß auch andere Bestimmungsmöglichkeiten des Beladungszustandes denkbar sind.

Bei Lambda-Werten unterhalb des genannten Lambda-Schwellenwertes und bei ausreichend hohen Katalysatortemperaturen oberhalb der Entschwefelungs-Temperaturschwelle von mehr als etwa 300°C bei DI-Dieselmotoren und von mehr als etwa 500°C bei anderen Motoren erfolgt hingegen eine Schwefelentladung, die mit dem Reduktionsmittelangebot, dem Abgasmassenstrom, der Katalysatortemperatur, dem aktuellen Beladungszustand des Katalysators mit Schwefel, der Schwefel-Beladung des Katalysators zu Beginn der De-Sulfatierung und dem Lambda-Wert korreliert ist. Die Abhängigkeit von diesen Größen ist unterschiedlich stark ausgeprägt. Allein die Berücksichtigung der zu Beginn der Entschwefelung vorhandenen Schwefelmasse bewirkt jedoch bereits eine Abweichung von etwa  $\pm 20\%$  im Vergleich zu einer herkömmlichen Berechnung der Regenerationsdauer ohne eine entsprechende Berücksichtigung des Anfangsbeladungszustandes. Bei Vorliegen der genannten Betriebsbedingungen wird daher aus den genannten Einflußgrößen die Abnahme der Schwefelbeladung berechnet.

Hierbei wird auch der Einfluß der O<sub>2</sub>-Speicherfähigkeit berücksichtigt. Vor dem Einleiten bzw. Fortführen einer De-Sulfatierung muß erst der im NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator eingelagerte Restsauerstoff ganz oder teilweise verbraucht werden. Aus dem gemessenen Abgas-Lambdawert LAMSONI wird der zum O<sub>2</sub>-Verbrauch bei LAMSONI  $\leq$  LAMO2LAD nutzbare Reduktionsmittelüberschuß errechnet, wobei LAMO2LAD der Lambda-Wert ist, bei dessen Überschreiten eine Sauerstoff-Einlagerung erfolgt. Erst bei verschwindendem Restsauerstoffgehalt im NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator werden die gespeicherten Sulfate umgesetzt; wobei die Schwefelumsetzung auch überlappend mit dem Sauerstoffverbrauch einsetzen kann.

Bei Vorliegen von LAMSONI > LAMO2LAD nach vorherigem Fettbetrieb wird die im NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator lagernde Restsauerstoffmasse mit von LAMSONI abhängiger Geschwindigkeit wieder auf den temperaturabhängigen Maximalwert gesetzt, auf dem die eingelagerte Sauerstoffmasse während des Magerbetriebs verbleibt.

Die ermittelte Schwefelbeladung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators wird mit einem vorbestimmten ersten Schwefelbeladungsschwellenwert verglichen, bei dessen Überschreitung eine De-Sulfatierung als erforderlich erachtet wird, um keine unzulässigen Einbrüche bei der NO<sub>x</sub>-Konvertierung zu erhalten und um die mit der eingelagerten Schwefelmasse ansteigende Sulfatkorngröße zu begrenzen.

Eine De-Sulfatierung wird jedoch auch bereits ohne Überschreitung des ersten Schwefelbeladungsschwellenwertes vorzeitig als erforderlich erachtet, wenn seitens der nachstehend noch ausführlich beschriebenen erfundsgemäßen Emissionstüberwachung eine schwefelbedingte noch "reparierbare" Schädigung erkannt wird. Andererseits wiederum wird mittels der Emissionsüberwachung eine wegen Überschreitung dieses ersten Schwefelbeladungsschwellenwertes an sich erforderliche De-Sulfatierung bis zum Erreichen eines maximal zulässigen vorbestimmten Stickoxidemissionsdurchbruchs hinausgezögert, wenn die gemessenen Einbrüche bei der NO<sub>x</sub>-Konvertierung deutlich unter dem für diese Verschweiflung prognostizierten Niveau liegen. In diesem Fall ist von einem Fahrzeugbetrieb mit

schwefelarmem Kraftstoff auszugehen, so daß unnötige den Katalysator thermisch belastende Entschwefelungsvorgänge unterdrückt werden können.

Unabhängig von dem ermittelten Beladungswert ist eine Entschwefelung auch dann erforderlich, wenn seitens einer zugeordneten OBD-Einrichtung (OBD = ON-BOARD-DIAGNOSE) eine solche Maßnahme angefordert wird.

Vor der Einleitung und Durchführung einer De-Sulfatierung oder vor der Fortsetzung eines aus den nachstehend beschriebenen Gründen unterbrochenen De-Sulfatierungsvorgangs wird jedoch in einem weiteren Verfahrensschritt zunächst stets die Zulässigkeit einer solchen Maßnahme überprüft, um unerwünschte oder gar gefährliche Fahrsituationen oder Betriebszustände zuverlässig ausschließen zu können. Diese Zulässigkeitsüberprüfung erfolgt kontinuierlich und zeitlich parallel zu der bereits beschriebenen Bestimmung des Beladungszustandes. Es ist jedoch auch ausreichend, wenn eine entsprechende Überprüfung erst dann erfolgt, wenn eine De-Sulfatierung aus den genannten Gründen als erforderlich erachtet wird.

Da die zur Durchführung einer De-Sulfatierung erforderliche Anfettung des Abgasstroms auf  $\lambda \leq 1$  zu einer Erhöhung der gesamten eingespritzten Kraftstoffmenge und damit zu einer Leistungszunahme führen kann, werden hierbei zunächst alle der Brennkraftmaschine zugeordneten sicherheitsrelevanten Bauteile, d. h. insbesondere alle Einspritz-, Ansaug- und Abgaskomponenten, auf einwandfreie Funktionsweise überprüft und eine De-Sulfatierung oder Regeneration des Katalysators nur zugelassen, wenn von diesen Bauteilen keine Fehlermeldungen kommen. Eine entsprechend Überwachung der Bauteile erfolgt vorzugsweise mittels der bereits erwähnten OBD-Einrichtung.

Zudem wird auch die aktuelle Fahrsituation auf die Einhaltung vorbestimmter Fahrparameter überprüft, da eine De-Sulfatierung nicht bei allen Fahr- und Betriebssituationen zulässig ist. Zur Durchführung einer De-Sulfatierung müssen insbesondere die Drehzahl, die Last, die Laständerung und die Fahrgeschwindigkeit innerhalb vorgegebener Zulässigkeitsgrenzen liegen, die eingehalten werden müssen, damit eine De-Sulfatierung erfolgen kann oder eine bereits begonnene De-Sulfatierung nicht unterbrochen oder abgebrochen wird.

Bei sehr hohen Drehzahlen und Lasten ist eine Anfettung des insbesondere bei Turbomotoren sehr hohen Abgasmassenstroms auf einen Lambda-Wert von weniger als 1, wie er zur Durchführung einer De-Sulfatierung erforderlich ist, nur in Verbindung mit hoher Exothermie im Abgas möglich, so daß eine De-Sulfatierung bei Überschreitung einer maximal zulässigen Motordrehzahl bzw. Last als unzulässig erachtet wird. Diese obere Zulässigkeitsgrenze für die Motordrehzahl entspricht hierbei einer Drehzahl, die die Leerlaufdrehzahl um etwa 85% der Differenz zwischen Leerlauf- und Nennleistungsdrehzahl übertrifft. Die Zulässigkeitsgrenze kann jedoch auch der maximal möglichen Drehzahl des Motors entsprechen, die gleich der mechanischen Grenzdrehzahl oder der von einem Motorsteuergerät vorgegebenen maximal zulässigen Drehzahl des Motors ist. Die entsprechend Zulässigkeitsgrenze für die Last entspricht etwa 90–100% des maximalen Drehmomentes des verwendeten Motors.

Da eine De-Sulfatierung bei sehr niedrigen Motordrehzahlen und Lasten die verstärkte Bildung und Konzentration unerwünschter Nebenprodukte begünstigen kann, wird eine entsprechend Maßnahme auch bei Unterschreitung unterer Zulässigkeitsgrenzen für die Drehzahl bzw. Last unterdrückt oder gar nicht erst eingeleitet. Als Mindestdrehzahl für die Durchführung einer De-Sulfatierung wird hierbei eine Drehzahl verwendet, welche die Leerlaufdrehzahl um etwa

5-10% der Differenz zwischen der Leerlauf- und der Nennleistungsdrehzahl übertrifft, während die Mindest-Last etwa der maximalen Schlepplast oder der Nullast des Motors entspricht.

Zur Vermeidung gefährlicher Fahrsituationen wird auch bei abrupten Laständerungswünschen oberhalb eines vorbestimmten Laständerungsschwellenwertes keine De-Sulfatierung zugelassen, der typischerweise etwa 50-150% der Differenz zwischen dem minimal und maximal möglichen Motordrehmoment pro Sekunde beträgt. Als Maß für die Laständerungswünsche dient hierbei eine zeitliche Veränderung des Pedalwertgebers PWG oder die PWG-Geschwindigkeit, die beispielsweise etwa 100% der Differenz zwischen minimal und maximal möglichem Pedalgeberwert pro Sekunde nicht überschreiten darf.

Die Zulässigkeit einer De-Sulfatierung bei einer vorgegebenen Fahrsituation kann auch aus Schwellenwerten für die Einspritzmenge, den Drehzahlgradienten oder für ein Schuberkennungs- oder Bremsignal abgeleitet werden, wobei beispielsweise die Einspritzmenge in Abhängigkeit vom verwendeten Motortyp etwa 10-90% des Maximalwertes betragen sollte. Falls eine oder mehrere dieser Möglichkeiten nicht benötigt werden, so können diese durch entsprechende Wahl der Schwellenwerte oder Zulässigkeitsgrenzen oder durch soft- oder hardwaremäßige Schalter außer Betrieb genommen werden.

Um akustische Einflüsse einer De-Sulfatierung durch die erforderliche Teilandrosselung in Fahrphasen mit höheren Abroll- und Windgeräuschen, d. h. höheren Geschwindigkeiten, zu verlagern und um eventuell auftretende geruchsintensive Reaktionsprodukte nicht im Stillstand oder bei einer zu geringen Fahrgeschwindigkeit zu emittieren, ist zudem die zulässige Mindestgeschwindigkeit zur Durchführung einer De-Sulfatierung auf etwa 20-50 km/h begrenzt. Als weitere Zulässigkeitsvoraussetzung zur Durchführung einer De-Sulfatierung wird daher die Einhaltung dieser Mindestgeschwindigkeit überwacht.

Der NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator benötigt nach einer vollständig verlaufenen oder aus den nachstehend noch dargestellten Gründen unterbrochenen oder vorzeitig abgebrochenen De-Sulfatierung stets eine Abkühl- oder Erholungsphase bis zu einer erneuten De-Sulfatierung, deren Dauer im wesentlichen abhängig ist von der zum Erreichen des De-Sulfatierungszustandes erforderlichen Vorbereitungszeit, der eigentlichen De-Sulfatierungsdauer und dem jeweiligen Temperaturverlauf. Nach ordnungsgemäßer Beendigung einer De-Sulfatierungsvorgangs beträgt die minimale Erholungszeit typischerweise etwa 30-180 Minuten, während nach einem vorzeitigen Abbruch bzw. einer Unterbrechung lediglich eine Zeitspanne von etwa 2-5 Minuten erforderlich ist. Nach Beendigung bzw. Abbruch einer De-Sulfatierung wird daher durch ein entsprechendes Abbruch- oder Endsignal eine Zeitfunktion gestartet und in Abhängigkeit von den genannten Einflußgrößen die aktuellerweise jeweils erforderliche minimale Erholungsdauer bestimmt, innerhalb der eine erneute De-Sulfatierung als unzulässig erachtet wird. Die Einhaltung dieser Zulässigkeitsvoraussetzung wird dann durch einen einfachen Vergleich der so ermittelten minimal erforderlichen Erholungsdauer mit den gemessenen Zeitfunktionswerten überprüft.

Eine andere Möglichkeit für die Unzulässigkeit eines De-Sulfatierungsvorgangs besteht in einer zu hohen thermischen Belastung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators durch Überschreitung eines Schwellenwertes für die De-Sulfatierungs-Gesamtzeit, die sich aus der für den Übergang vom normalen Betriebszustand in den De-Sulfatierungszustand erforderlichen Vorbereitungs- oder Aufheizzeit und der zur Durchführung einer De-Sulfatierung erforderlichen eigentli-

chen De-Sulfatierungszeit zusammensetzt. Der genannte Schwellenwert beträgt üblicherweise etwa 3-20 Minuten.

Die Dauer eines De-Sulfatierungsvorgangs wird daher kontinuierlich bestimmt und mit dem angegebenen Schwellenwert verglichen. Bei Überschreitung dieses Schwellenwertes wird eine Fortsetzung des De-Sulfatierungsvorgangs als unzulässig erachtet, so daß er auf die nachstehend noch ausführlicher beschriebene Art und Weise automatisch unterbrochen oder gegebenenfalls auch abgebrochen wird.

Alternativ hierzu können auch Schwellenwerte für die Einzelzeiten verwendet werden. In diesem Fall beträgt die maximal zulässige Aufheiz- oder Vorbereitungszeit und die maximal zulässige De-Sulfatierungsdauer jeweils etwa 100-600 s. Zur Schonung des Katalysators sind jeweils die Werte nahe der angegebenen unteren Grenzen zu bevorzugen.

Im Falle einer nachstehend noch ausführlich beschriebenen vorgezogenen De-Sulfatierung auf Grund einer durch die erfindungsgemäße Emissionsüberwachung des ausströmenden Abgases festgestellten Unregelmäßigkeit der Katalysatoraktivität wird zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen Funktionsweise des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators die Anzahl der anschließend durchgeführten regulären De-Sulfatierungen bestimmt und mit einer vorbestimmten Mindestanzahl aufeinanderfolgender De-Sulfatierungen verglichen, die etwa 10-30 beträgt. Beim Auftreten einer erneuten Unregelmäßigkeit der Katalysatoraktivität vor Erreichung dieser Mindestanzahl werden weitere De-Sulfatierungen als unzulässig erachtet, um eine zu häufige Einleitung vorgezogener De-Sulfatierungen bei vorgeschrägtem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator zu verhindern. Es wird von einem Katalysatordefekt ausgegangen, der an die zugeordnete OBD-Einrichtung übermittelt wird und durch eine entsprechende Anzeigeeinrichtung angezeigt werden kann.

Neben der Zulässigkeit einer De-Sulfatierung wird in einem weiteren Verfahrensschritt auch geprüft, ob durch Einhaltung vorbestimmter De-Sulfatierungsparameter, die insbesondere bestimmte Bereiche der Katalysatortemperatur und des Lambda-Wertes umfassen, überhaupt die Möglichkeit zur Durchführung einer De-Sulfatierung gegeben ist. Diese Überprüfung erfolgt gleichzeitig mit der oben beschriebenen Zulässigkeitsüberprüfung. Es ist jedoch auch denkbar, daß sie erst bei Überschreitung des vorbestimmten ersten Schwefelbeladungsschwellenwertes und bei Zulässigkeit einer De-Sulfatierung durchgeführt wird.

Zur Gewährleistung einer erfolgreichen De-Sulfatierung muß insbesondere eine minimale Katalysatortemperatur vorliegen, die bei NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren auf Bariumbasis etwa 450°C beträgt, während sie für NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren auf Kaliumbasis bei etwa 600°C liegt. Die maximal zulässigen Katalysatortemperaturen betragen etwa 700-850°C. Die Einhaltung dieser Grenzen wird über die gemessenen oder berechneten Abgastemperaturen vor und nach dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator überwacht, wobei gegebenenfalls auch bereits einer dieser Werte ausreicht.

Zur erfolgreichen Durchführung einer De-Sulfatierung muß ein mittlerer Lambda-Wert von etwa 1,03 unterschritten werden.

In Abhängigkeit vom Edelmetallgehalt und der Edelmetallzusammensetzung, von der Art und der Menge der Speicherkomponenten, von der Dispersion der Edelmetall- und Speicherkomponenten, von der Art der Aufbringung auf den Washcoat, von der Dichte, Menge, Porengrößenverteilung, Zusammensetzung und Basizität des Washcoats sowie vom Material und der Ausführung des Trägermaterials, können jedoch auch andere Randbedingungen für die Katalysator-temperatur und den Lambda-Wert verwendet werden.

Bei Überschreitung des ersten Schwefelbeladungs-

schwellenwertes und Zulässigkeit einer De-Sulfatierung werden nun gegebenenfalls durch verschiedene motorische Maßnahmen der nachstehend genannten Art die erforderlichen De-Sulfatierungsparameter eingestellt, falls diese noch nicht vorliegen sollten, und es wird die erforderliche De-Sulfatierung eingeleitet. Bei Unzulässigkeit einer solchen Maßnahme wird hingegen zunächst bis zum Vorliegen der Zulässigkeitsvoraussetzungen gewartet und gegebenenfalls eine festgestellte Funktionsstörung eines der bereits genannten sicherheitsrelevanten Bauteile signalisiert.

Um das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine und des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators Verfahren möglichst wenig zu beeinflussen, kann die Einstellung der erforderlichen De-Sulfatierungsparameter auch erst nach Ablauf einer vorbestimmten Zeitspanne oder nach Überschreitung eines zweiten Schwellenwertes für die Schwefelbeladung erfolgen, der beispielsweise einer Beladung entspricht, bei der eine De-Sulfatierung oder Regeneration dringend erforderlich ist. In diesem Fall wird der Beladungszustand des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators durch die Schwellenwerte in drei charakteristische Bereiche unterteilt, in denen eine "De-Sulfatierung nicht nötig", eine "De-Sulfatierung nötig" oder eine "De-Sulfatierung dringend nötig" ist. Es ist auch eine Kombination beider Verfahren oder auch eine feinere Unterteilung des Beladungszustandes durch Verwendung weiterer Schwellenwerte denkbar.

Im Zustand "De-Sulfatierung nötig" findet dann eine De-Sulfatierung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators nur statt, wenn sowohl die Betriebs situation eine De-Sulfatierung erlaubt, d. h., wenn die angegebenen Zulässigkeitsvoraussetzungen erfüllt sind, als auch die erforderlichen Betriebsparameter bereits eingestellt sind und eine De-Sulfatierung ermöglichen. Andernfalls wird mit einer De-Sulfatierung so lange gewartet, bis der Zustand "De-Sulfatierung dringend nötig" erreicht ist. Dann wird jedoch beim Vorliegen der Zulässigkeitsvoraussetzungen durch verschiedene motorische Maßnahmen der nachstehend genannten Art, die einzeln oder in Kombination erfolgen, auf die Betriebsparameter derart Einfluß genommen, daß eine De-Sulfatierung durchgeführt werden kann. Durch diese zweistufige Vorgehensweise wird das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine so wenig wie möglich beeinflußt.

Die Einstellung der erforderlichen De-Sulfatierungsparameter umfaßt hierbei die folgenden Maßnahmen, die einzeln oder in Abhängigkeit vom Betriebspunkt sowie der Abgas- und Katalysatortemperatur auch in Kombination ergriffen werden können.

1. Homogener Betrieb mit Lambda ≈ 1 im gesamten Kennfeld.
2. Spätzündung bei homogenem Betrieb.
3. Anhebung der Leerlaufdrehzahl bei einem Betrieb mit Lambda ≈ 1.
4. Anhebung der Lambda-Regelamplitude und der Lambda-Regelfrequenz bei einem Betrieb mit Lambda ≈ 1.
5. Zylinderselektiver Mager-Fett-Betrieb bei einem Betrieb mit Lambda ≈ 1.
6. Nacheinspritzung während oder nach Brennende:
  - a. bei geschichtet magerem Grundbetrieb auf Lambda ≈ 1;
  - b. bei homogen magerem Grundbetrieb auf Lambda ≈ 1;
  - c. bei homogenem Betrieb mit Lambda ≈ 1 auf Lambda < 1.
7. Sekundärlufteinblasung bei Lambda << 1 bei Vorhandensein einer Sekundärluftpumpe (SLP).

Das Ziel dieser Maßnahmen besteht darin, neben der thermischen Aufheizung durch heißeres Abgas zusätzliche Schadstoffmengen bei hinreichenden O<sub>2</sub>-Konzentrationen bereitzustellen, so daß auf dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator und einem diesem vorgeschalteten Vorkatalysator weitere Temperatursteigerungen durch die Schadstoffumsetzungen möglich sind. Dabei soll nach Möglichkeit nur ein Teil der Schadstoffe auf dem Vorkatalysator umgesetzt werden, damit im Vorrohr bei vergleichsweise kühlem Abgas eine weniger starke Auskühlung erfolgt. Zudem wird die hohe Temperatur ohnehin erst am NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator benötigt. Zusätzlich sollte die Schadstoffzusammensetzung hinsichtlich des HC/CO-Verhältnisses und das Verhältnis zwischen Schadstoff- und O<sub>2</sub>-Konzentration weitgehend frei wählbar sein.

Lambda-Werte >> 1 sind während der Ermöglichung der De-Sulfatierung bei gemessenen Abgastemperaturen von mehr als etwa 550°C nicht empfehlenswert, da im Zuge der Katalysatoraufheizung die NO<sub>x</sub>-Thermo-Desorptionstemperatur überschritten wird. Gegebenenfalls kann zur Minde rung der Nebenproduktbildung ein temporärer leicht magerer Betrieb mit Lambda ≤ 1,05 mit hohen Schadstoff- und Sauerstoffkonzentrationen sinnvoll sein.

Während der Ermöglichung der De-Sulfatierung wird der Lambda-Sollwert durch Einstellung geeigneter De-Sulfatierungsparameter ausgehend von einem Lambda-Grundwert in Abhängigkeit von der Abgastemperatur, der Leerlaufdrehzahl, der Einspritzmenge, dem Einspritzzeitpunkt der Homogen-, Schicht- und Nacheinspritzung, der Wobblefrequenz und der Wobbleamplitude des Lambdasignals, dem Maß der Zylinderverstimmung, der über eine Sekundärluftpumpe (SLP) zusätzlich eingebrachten Luftmasse und der Zeit seit Überschreitung der Katalysatortemperatur, bei der die De-Sulfatierung einsetzt, über Kennlinien oder Kennfelder korrigiert.

Der NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator wird hierbei zum schnellen Aufheizen auf die Soll-Desulfatierungstemperatur so lange mit einer höheren Vorlauftemperatur von maximal etwa 800–980°C erwärmt, bis die mittlere Temperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators der gewünschten De-Sulfatierungs temperatur entspricht. Als maximale Vorlauftemperatur wird hierbei insbesondere diejenige Temperatur gewählt, bei der nach einer einstündigen Ofenalterung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators mit dieser Temperatur unter hydrothermaler Umgebung, d. h. Luft mit 0,1–15% Sauerstoff und 0,1–15% Wasserdampf, maximal etwa 10% NO<sub>x</sub>-Konvertierungseinbruch im Emissionszulassungstest für den für das Fahrzeug vorgesehenen Verkaufsmarkt auftritt. Die maximal zulässige Vorlauftemperatur läßt sich dadurch berechnen, daß von einem bestimmten Ausgangs- oder Rohwert die Temperaturerhöhung durch die Rest-Schadstoffkonvertierung auf dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator subtrahiert wird. Die Rest-Schadstoffkonvertierung wiederum kann kennfeldmäßig aus dem Schadstoffdurchbruch durch den Vorkatalysator und dem Abgasmassenstrom berechnet werden.

Die Vorlauftemperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators und die Temperatur des Vorkatalysators werden zudem auf der Basis der von einem Abgastemperatursensor zwischen dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator und dem Vorkatalysator ermittelten Temperatur überwacht und so geregelt, daß zur Schonung des temperaturempfindlichen NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators die maximal zulässige Vorlauftemperatur und eine bestimmte maximal zulässige Vorkatalysatortemperatur nicht überschritten wird. Die gemessene Vorlauftemperatur wird hierbei um die Lauflänge, die geometrische Ausführung und die Umströmung des Vorrohrs korrigiert, während die eigentliche Temperatur des Vorkatalysators unter Berücksichtigung der Katalysatormasse kennfeldmäßig aus der gemess-

senen Abgastemperatur und dem Abgasmassenstrom bestimmt wird. Hierbei wird auch die berechnete Schadstoffumsetzung auf dem Vorkatalysator berücksichtigt (siehe Fig. 2).

Die tatsächlichen Rohemissionen an HC, CO, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> vor dem Vorkatalysator werden durch multiplikative Zuschläge für die Kühlmitteltemperatur und die Drehzahl-Last-Dynamik aus einem im stationären Wärmetest ermittelten Rohemissionskennfeld bestimmt. Ab einer für die De-Sulfatierung relevanten Temperatur von mehr als etwa 300°C bei DI-Dieselmotoren und von mehr als etwa 500°C bei anderen magerbetriebenen Motoren wird hierbei von einer idealen Umsetzung der Schadstoffe ausgegangen, wobei Abschläge von diesem Wert durch die Raumgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Bei  $\lambda \leq 1$  betrifft dies die Umsetzung der Schadstoffe HC, CO und NO<sub>x</sub>, bei  $\lambda > 1$  nur die Umsetzung von HC und CO. Damit lässt sich auch aus der hinter dem Vorkatalysator gemessenen Temperatur näherungsweise die Temperatur im Vorkatalysator bestimmen. Überdies lässt sich auch der Schadstoffdurchbruch durch den Vorkatalysator näherungsweise berechnen. Die Bestimmung der Vorkatalysatortemperatur und der Schadstoffumsetzung im Vorkatalysator sind in Fig. 2 schematisch dargestellt, wobei die CO-, HC- und NO<sub>x</sub>-Konvertierungsrate im Vorkatalysator mit ETAVORCO, ETAVORHC bzw. ETAVORNOX bezeichnet ist.

Das Ergreifen der Maßnahme "Spätzündung bei homogenem Betrieb" (Maßnahme 2) wird erst oberhalb einer bestimmten Kühlmitteltemperatur eingeleitet, die über die Ansauglufttemperatur korrigiert wird. Die Zündwinkelvorgabe im Homogenbetrieb richtet sich nach dem spätesten möglichen Zündwinkel und wird in Abhängigkeit von der Katalysator- und Abgastemperatur, der Leerlaufdrehzahl und der Lambdavorgabe über Kennfelder oder Kennlinien korrigiert. Zusätzlich erfolgt eine Korrektur bei Annäherung an die maximal zulässige Temperatur des Vorkatalysators bzw. NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators. Im Schichtbetrieb wird ansonsten, sofern während der Ermöglichung der De-Sulfatierung überhaupt erwünscht, ohne Ergreifen weiterer Maßnahmen in die Zündung nicht eingegriffen.

Zur Änderung der Lambda-Regelstrategie werden die Vorgaben hinsichtlich der Regelfrequenz, der Regelamplitude und der Regelform in bestimmten Bereichen frei wählbar gestaltet. Die Lambda-Regelfrequenz, die Lambda-Regelamplitude und die Steilheit der Flanken beim Ausmagem bzw. Anfetten werden in Abhängigkeit von der Temperatur des Vorkatalysators und des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators geändert, wobei die Änderung der Regelfrequenz -50 bis +250% und die Änderung der Regelamplitude 20 bis +400% beträgt, während die Unterschiede der Steilheit der Flanken beim Ausmagem bzw. Anfetten 10 : 1 bis 1 : 10 betragen.

Zur Realisierung des zylinderselektiven Mager-Fett-Betriebs bei  $\text{Lambda} \approx 1$  (Maßnahme 5) wird ein Ungleichförmigkeitsfaktor der Einspritzmenge definiert, der das maximal zulässige Maß der Verstimmung zwischen den Zylindern angibt und kennfeldmäßig über die Last und die Drehzahl ermittelt und über die Temperatur der Brennkraftmaschine und die Abgastemperatur korrigiert wird, wobei bei Annäherung an die maximal zulässigen Temperaturen des Vorkatalysators und des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators eine zusätzliche Korrektur erfolgt. Die Zündwinkel für die einzelnen Zylinder werden hierbei jeweils so angepasst, daß von allen Zylinder das gleiche Moment abgegeben wird.

Die Soll-Einspritzmenge wird bei einem Motor mit n Zylindern für m Zylinder mit dem Ungleichförmigkeitsfaktor UF und für die restlichen n-m Zylinder mit  $UF' = (n - m \cdot UF)/(n - m)$  multipliziert, wobei n Werte  $\geq 2$  und m Werte zwischen 1 und n-1 annehmen kann. Die angegebene

nen Multiplikationen mit UF bzw. UF' erfolgen hierbei vorzugsweise für 2 in der Zündfolge benachbarte Zylinder, wobei insbesondere zunächst für mindestens 2 in der Zündfolge benachbarte Zylinder die Multiplikation mit UF erfolgt und anschließend die Multiplikation mit UF' für zumindest 2 in der Zündfolge benachbarte Zylinder.

Alternativ hierzu wird die Soll-Einspritzmenge bei einem Motor mit n Zylindern für m Zylinder mit einem ersten Ungleichförmigkeitsfaktor UF1 und für p Zylinder mit einem zweiten Ungleichförmigkeitsfaktor UF2 und für die restlichen n - m - p Zylinder mit  $(n - m - p) \cdot UF1 - p \cdot UF2)/(n - m - p)$  multipliziert, wobei n Werte  $\geq 3$ , m Werte zwischen 1 und n-2 und p Werte zwischen 1 und n-2 annehmen kann. Der Ungleichförmigkeitsfaktor UF2 ist hierbei vorzugsweise größer als der Ungleichförmigkeitsfaktor UF1, wobei insbesondere gilt  $UF2 > 1,1 \cdot UF1$  und vorzugsweise  $UF2 > 1,5 \cdot UF1$ . UF2 ist somit insbesondere zumindest 10%, vorzugsweise jedoch zumindest 50%, größer als UF1.

Die Abweichung zwischen den Ungleichförmigkeitsfaktoren UF1 und UF2 wird kennfeldmäßig über die Temperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators, die aktuelle Schwefelbeladung und die Schwefelbeladung zu Beginn des De-Sulfatierungsvorgangs korrigiert.

Bei der Zylindervertrimmung wird eine Maximalvertrimmung von  $\pm(20-50\%)$  definiert, die über die Temperatur der verwendeten Brennkraftmaschine, die Temperatur des Vorkatalysators und die Temperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators korrigiert wird. Dieser statische Wert kann um  $\pm 95\%$  von der Abweichung korrigiert werden.

Bei der Nacheinspritzung nach Brennende wird die Nach-Einspritzmenge über die Differenz zwischen dem berechneten Brennraum-Lambda-Wert und einer Brennraum-Lambda-Vorgabe errechnet. Die Überwachung und die Korrektur der errechneten Nach-Einspritzmenge erfolgt über den gemessenen Lambda-Wert des Abgases, wobei der Einspritzzeitpunkt zündzeitpunkt-, mengen-, last- und drehzahlabhängig so geregelt wird, daß die zusätzlich eingebrachte Kraftstoffmenge sicher nicht mehr verbrennt, aber ein vollständiges Austragen im Ausschubtakt möglich ist. Falls zur Zumessung der Homogen- bzw. Schicht-Einspritzmenge eine Rückmeldung der Lambda sondensignale erforderlich ist, muß während der Ermöglichung der De-Sulfatierung statt dessen ein gerechnetes Lambda-Signal bezogen auf den Verbrennungsvorgang ohne Nacheinspritzung, weitergeleitet werden.

Bei der Nacheinspritzung während des Brennendes erfolgt zusätzlich noch eine kennfeldmäßige Korrektur der Einspritzmenge der Haupteinspritzung zur Kompensation eventueller Drehmomentänderungen durch im Brennraum verbleibende Nacheinspritz-Kraftstoffmengen bis zu etwa maximal 20% der Nacheinspritzmenge. Dazu wird in Abhängigkeit vom Einspritzzeitpunkt, der Einspritzdauer, vom Zündzeitpunkt und der Drehzahl die noch verbrannte Nacheinspritz-Kraftstoffmenge und der Wirkungsgrad diese Verbrennungsanteils ermittelt und die Haupteinspritzmenge entsprechend reduziert.

Denkbar ist außerdem, die Verbrennung der nach-eingespritzten Kraftstoffmenge über eine erneute Zündung anzuregen.

Die Nacheinspritzung während oder nach Brennende bei homogenem Betrieb mit  $\text{Lambda} \approx 1$  auf  $\text{Lambda} < 1$  kann durch die Einblasung von Sekundär Luft unterstützt werden. Dabei wird besonders sorgfältig auf den Temperaturverlauf eines Vorkatalysators und des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators geachtet, wobei neben der errechneten Temperatur auch der Temperaturgradient bei Annäherung an die jeweils zulässige Maximaltemperatur maßnahmenbegrenzend wirken.

Ein gemäß dem eben besprochenen Verfahrensschritt ein-

geleiteter De-Sulfatierungsvorgang wird bis zum Erreichen eines vorbestimmten ersten De-Sulfatierungsgrades durchgeführt, der einem im wesentlichen vollständig regenerierten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator entspricht.

Zur Unterdrückung der Bildung unerwünschter Nebenprodukte wird die Lambdavorgabe beim Durchführen einer De-Sulfatierung spätestens bei Überschreitung der Katalysatortemperatur zeitlich variiert, bei der ein Abbau des eingelagerten Schwefels einsetzt. Hierbei wird zunächst ein von der Temperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators abhängiger 'Lambda-Grundwert' festgelegt, der über die aktuelle Schwefelbeladung und die Schwefelbeladung zu Beginn des Ermöglichens der De-Sulfatierung zu einer Lambdavorgabe für die Durchführung der De-Sulfatierung korrigiert wird. Diese quasistatische nur langsam veränderliche Lambdavorgabe kann mit einer in Frequenz, Amplitude und Regelform veränderbaren Schwingung überlagert werden, die abhängig ist von der Lambdavorgabe selbst, der aktuellen Schwefelbeladung, der Schwefelbeladung zu Beginn des Ermöglichens der De-Sulfatierung, der Katalysatortemperatur sowie der Abweichung zwischen gemessener und berechneter Katalysatoraktivität. Die Steilheit der Ausmagerungs- zur Anfettungsflanke beträgt 10 : 1 bis 1 : 10.

Während des De-Sulfatierungsvorgangs wird die Temperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators überwacht. Bei Überschreitung eines während der De-Sulfatierung zumindest einzuhaltenden Schwellenwertes der Katalysatortemperatur werden die Maßnahmen zur Erhöhung der Katalysatortemperatur so weit zurückgenommen, daß die für die De-Sulfatierung vorgegebene Soll-De-Sulfatierungstemperatur innerhalb vorbestimmter Grenzen gehalten wird, die etwa ± 50°C bis ± 150°C betragen. Die Soll-De-Sulfatierungstemperatur wird hierbei aus der aktuellen Schwefelbeladung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators und der Schwefelbeladung zu Beginn des De-Sulfatierungsvorgangs berechnet und entsprechend der ermittelten Abweichung zwischen gemessener und berechneter oder prognostizierter Katalysatoraktivität bzw. Schwefelschädigung korrigiert.

Mit Ausnahme der Kalibrierung auf die geänderten Lambda- und Temperaturwerte entsprechen die Maßnahmen bei der Durchführung der De-Sulfatierung den Maßnahmen bei der Ermöglichung der De-Sulfatierung.

Nach regulärer Beendigung der De-Sulfatierung und erfolgter Regeneration des Katalysators werden die normalen Betriebsbedingungen wieder eingestellt und es erfolgt eine Wiederholung des oben beschriebenen Verfahrens durch Rückkehr zu dem erstgenannten Verfahrensschritt mit der kontinuierlichen Bestimmung und Überwachung des Schwefel-Beladungszustandes. Ein Umschalten in den geschichtet-mägeren Betrieb ist jedoch erst nach Auskühlung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators unter die NO<sub>x</sub>-Thermo-Desorptionsschwelle möglich. Gegebenenfalls kann im Leerlauf und im untersten Lastbereich bei den dort sehr niedrigen NO<sub>x</sub>-Rohemissionen dennoch ein geschichtet-mägerer Betrieb zugelassen werden, um die Auskühlung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators in seinen normalen Betriebsbereich zu beschleunigen.

Falls die aktuellen Ergebnisse der Zulässigkeitsüberprüfung dies jedoch erfordern, wird die eingeleitete De-Sulfatierung nicht bis zum Erreichen des vorbestimmten ersten De-Sulfatierungsgrades durchgeführt sondern es erfolgt statt dessen bei erkannter Unzulässigkeit des De-Sulfatierungsvorgangs ein vorzeitiger Abbruch oder zumindest eine Unterbrechung der De-Sulfatierung.

Bei Überschreitung eines vorbestimmten zweiten De-Sulfatierungsgrades, der auf die oben bereits ausführlich beschriebene Art und Weise über den aktuellen Beladungszustand des Katalysators mit Schwefel bestimmt wird und

etwa einer Restbeladung von 5–15% bezogen auf den Beladungszustand bei Einleitung der De-Sulfatierung entspricht, ist bereits eine ausreichend hohe katalytische Aktivität zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen Abgasreinigung gegeben und es erfolgt eine Wiederholung des beschriebenen Verfahrens durch Rückkehr zu dem erstgenannten Verfahrensschritt. Nach solch einem endgültigen Abbruch des De-Sulfatierungsvorgangs werden die normalen Betriebsbedingung wieder eingestellt.

Bei Unterschreitung des vorbestimmten zweiten De-Sulfatierungsgrades hingegen, d. h. bei Unterschreitung einer entsprechenden vorbestimmten katalytischen Mindest-Soll-Aktivität, wird von einer nicht ausreichenden Funktionsstüchtigkeit des Katalysators ausgegangen, so daß zunächst für eine bestimmte Zeitspanne oder einen vorbestimmten Beobachtungszeitraum bis zum erneuten Vorliegen der Zulässigkeitsvoraussetzungen gewartet und der begonnen De-Sulfatierungsvorgang anschließend zur Gewährleistung einer ordnungsgemäßen Abgasreinigung bis zum Erreichen einer ausreichend guten Entschwefelung, d. h. üblicherweise bis zum Überschreiten des ersten vorbestimmten De-Sulfatierungsgrades, fortgesetzt wird. Anschließend werden wieder normale Betriebsbedingungen eingestellt und es erfolgt durch Rückkehr zu dem erstgenannten Verfahrensschritt eine Wiederholung des beschriebenen Verfahrens.

Um die zum Aufheizen des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators eingesetzte Energie nicht zu verlieren, wird die Katalysatortemperatur innerhalb des Beobachtungszeitraums durch ab schwächende temperaturerhaltende Maßnahmen zunächst beibehalten und erst nach Fortbestehen der Unzulässigkeit nach Ablauf dieses Zeitraums auf normale Betriebswerte abgesenkt. In dem Beobachtungszeitraum wird die Vorgabe des Lambdasignals unabhängig vom Katalysator- und Motorzustand soweit ins Magere oder Stöchiometrische verschoben, daß keine Entschwefelung mehr erfolgt, während man die Spätzündung zum Halten der Katalysatortemperatur weiterlaufen läßt. Hierdurch wird die De-Sulfatierung sozusagen "eingefroren". Erst wenn innerhalb des Beobachtungszeitraums der Status "De-Sulfatierung zulässig" nicht wieder erreicht wird, werden auch die temperatursteigenden Maßnahmen für den NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator wieder auf die Normalfunktion gesetzt. Zudem kann gegebenenfalls eine festgestellte Funktionsstörung eines der sicherheitsrelevanten Bauteile angezeigt werden.

Im Falle einer zu geringen Fahrgeschwindigkeit erfolgt das "Einfrieren" für etwa 60–600 s, insbesondere jedoch für etwa 300 s, mit einer Begrenzung der Nacheinspritzmenge auf etwa 0,2–0,3 kg/h, wobei ein Wert von etwa 0,25 kg/h zu bevorzugen ist. Aus sonstigen Gründen erfolgt das "Einfrieren" für etwa 30–300 s, insbesondere jedoch für etwa 150 s.

Auch nach Ablauf des Beobachtungszeitraums wird kontinuierlich die Zulässigkeit einer De-Sulfatierung, sowie die Möglichkeit zu deren Durchführung weiter überprüft, um den abgebrochenen De-Sulfatierungsvorgang durch Weiterführen so bald wie möglich zu beenden und damit die volle Funktionsstüchtigkeit des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators wieder herstellen zu können.

Zusätzlich hierzu erfolgt in einem weiteren Verfahrensschritt eine Emissionsüberwachung des aus dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator ausströmenden Abgases durch Messung seines Stickoxidgehaltes mittels eines nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Sensors und Vergleich dieser Meßwerte mit der auf die oben genannte Art und Weise berechneten oder prognostizierten maximal zulässigen Stickoxidemission.

Bei Überschreitung einer vorbestimmten ersten Toleranzschwelle oder Abweichung bezüglich der berechneten Stickoxidemission für eine bestimmte erste Zeitspanne oder

bei Auftreten eines vorbestimmten charakteristischen Abweichmusters zwischen der gemessenen und der berechneten Stickoxidemission wird von einer schwefelbedingten Beeinträchtigung der Katalysatoraktivität ausgegangen, zu deren Behebung unabhängig von der ermittelten aktuellen Schwefelbeladung des Katalysators eine vorzeitige De-Sulfatierung eingeleitet wird. Zudem erfolgt eine entsprechende Meldung an eine zugeordnete OBD-Kontrolleinrichtung. Die verwendete Toleranzschwelle liegt hierbei unterhalb einer OBD-relevanten Schädigungsschwelle, um beispielsweise auch beim Tanken hochverschweifelten Kraftstoffs durch Durchführung rechtzeitiger und wirkungsvoller De-Sulfatierungen stets eine ordnungsgemäße Funktionsweise des Katalysators gewährleisten zu können.

Die überprüften charakteristischen Abweichmuster vom prognostizierten oder berechneten Verhalten umfassen hierbei typischerweise die folgenden Schädigungsbilder, die sowohl jeweils für sich als auch gemeinsam auftreten können:

- Nach einer NO<sub>x</sub>-Regeneration wird zunächst eine gute NO<sub>x</sub>-Einlagerung gemessen, die Sättigung setzt jedoch schneller und stärker als berechnet ein.
- Nach einer NO<sub>x</sub>-Regeneration wird sofort ein starkerer NO<sub>x</sub>-Durchbruch gemessen, als nach den Berechnungen zu erwarten ist.
- Beim Umschalten vom Magerbetrieb auf einen Betrieb mit  $\lambda < 1$  sind hinter dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator gegenüber dem Frischzustand Abweichungen im Lambda-Wert messbar, die auf eine Schwefelvergiftung hindeuten. Das bedeutet insbesondere, daß zu Beginn und/oder am Ende einer NO<sub>x</sub>-Regeneration NO<sub>x</sub>-Emissionspeaks auftreten können, die das Rohemissionsniveau erreichen und sogar um mehr als 100% überschreiten können.

Liegen die gemessenen Emissionswerte zumindest für eine bestimmte zweite Zeitspanne zumindest eine vorbestimmte zweite Abweichung oder Toleranzschwelle unterhalb der anhand der Betriebsbedingungen berechneten oder prognostizierten Stickoxidemission, so ist die katalytische Aktivität des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators noch deutlich höher als dies auf Grund der berechneten Schwefelbeladung des Katalysators eigentlich zu erwarten wäre. Dieser ist damit noch ausreichend funktionstüchtig, um zumindest noch für eine gewisse Zeit eine ordnungsgemäße Abgasreinigung zu gewährleisten, so daß die auf Grund der berechneten hohen Schwefelbeladung eigentlich durchzuführende De-Sulfatierung unterbleiben kann. Die Einleitung einer entsprechenden Maßnahme wird daher zumindest bis zum Unterschreiten einer bestimmten katalytischen Mindestaktivität, d. h. insbesondere bis zum Überschreiten der Toleranzschwelle, vorzugsweise jedoch bis zum Erreichen der maximal zulässigen Stickoxidemission oder bis zum Auftreten des vorbestimmten charakteristischen Abweichmusters, unterdrückt, so daß beispielsweise bei einem Betrieb mit schwefelarmem Kraftstoff unnötige De-Sulfatierungen unterbleiben und die damit zwangsläufig verbundene thermische Belastung des Katalysators minimiert wird.

Die genannten Zeitspannen bei der erfundungsgemäßen Emissionsüberwachung können sowohl übereinstimmen als auch abweichend voneinander gewählt werden.

Der Vollständigkeit halber sei bemerkt, daß die erste und/oder die zweite Toleranzschwelle in speziellen Ausführungsbeispielen auch gleich Null gewählt werden können, so daß nur die Abweichung von der prognostizierten Stickoxidemission überprüft wird.

Die erfundungsgemäße Emissionsüberwachung ermöglicht somit im Unterschied zu herkömmlichen Verfahren

auch ohne Verwendung eines entsprechenden Sensors zur Bestimmung des Schwefelgehaltes im Kraftstoff oder Abgas eine sehr flexible und wirkungsvolle Anpassung des jeweiligen Zeitpunktes und der Anzahl der erforderlichen De-Sulfatierungsvorgänge an den Schwefelgehalt des jeweils verwendeten Kraftstoffs, die mit möglichst minimalen Eingriffen in das Betriebsverhalten des Katalysators und der ihm zugeordneten Brennkraftmaschine eine stets ausreichend hohe Katalysatoraktivität zur Erzielung einer ordnungsgemäßen Abgasreinigung gewährleistet.

Fig. 3 zeigt in schematischer Darstellung einen zur Durchführung des erfundungsgemäßen Verfahrens geeigneten Motor 10 mit einem vorgeschalteten Saugrohr 12 und einer darin eingebauten Drosselklappe 14, die hinter nicht dargestellten Ladedruck- und Temperatursensoren, aber vor einer EGR-Einleitung 16 (EGR = Abgasrückführung), angeordnet ist und zur Reduzierung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses Lambda dient. Die Ansteuerung der Drosselklappe 14 erfolgt entweder über ein pulsweitenmoduliertes Signal mit fester Frequenz, welches sich aus dem Tastverhältnis der Ansteuerung ergibt, oder durch eine CAN-Botschaft, die prozentual die Stellung der Drosselklappe 14 beschreibt. Die Ruhe- und Notlaufstellung der Drosselklappe 14 ist grundsätzlich in der Stellung "offen". Die Definition, welcher Wert des Ansteuerungssignals welcher Drosselklappenstellung entspricht, ist per Software einstellbar.

Das Abgas des Motors 10 gelangt über eine Abgasleitung 18 in einen Vorkatalysator 20 und einen NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 22 umfassende Abgasreinigungsvorrichtung. Dem Vorkatalysator 20 ist eine Breitband-Lambdasonde 24 zur Messung des Lambda-Wertes vorgeschaltet, die zusätzlich oder alternativ zu einer Berechnung des Lambda-Wertes erfolgt. Die Breitband-Lambdasonde 24 kann über eine dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 22 nachgeschaltete Sprungantwort-Lambdasonde 26 geführt werden. Alternativ hierzu kann jedoch auch das Signal eines dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 22 ebenfalls nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Sensors 28 zur Führung der Breitband-Lambdasonde 24 verwendet werden, so daß die Sprungantwort-Lambdasonde 26 nicht unbedingt erforderlich ist. Der NO<sub>x</sub>-Sensor 28 dient zur Bestimmung von Unregelmäßigkeiten der Katalysatoraktivität durch Messung der Stickoxidemission.

Vor dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 22 und hinter dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 22 ist jeweils ein Temperaturfühler 30 bzw. 32 zur Überwachung der minimal bzw. maximal zulässigen De-Sulfatierungstemperatur angeordnet. Die Temperaturfühler 30, bzw. 32 dienen zudem zur Überwachung der für eine NO<sub>x</sub>-Regeneration erforderlichen Mindesttemperatur sowie zur Steuerung der optimalen NO<sub>x</sub>-Einlagerung. Durch Vergleich der Ausgangstemperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators 22 mit der Eingangstemperatur kann dessen katalytische Aktivität überwacht werden. Wenn der Temperaturfühler 30 nicht unmittelbar vor dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator 22 sondern direkt hinter dem Vorkatalysator 20 angeordnet ist, muß auf die oben bereits ausführliche Art und Weise eine Temperaturkorrektur des Vorrohrs 34 errechnet werden. Bei Vorliegen eines hinreichend exakten Katalysatortemperaturellen kann auf den hinter dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (22) angeordneten Temperaturfühler (32) auch verzichtet werden.

Die Meßsignale der Breitband-Lambdasonde 24, der Temperaturfühler 30, 32, der Sprungantwort-Lambdasonde 26 und des NO<sub>x</sub>-Sensors 28 liegen über Leitungen 34, 36, 38, 40 an einer zugeordneten Steuereinrichtung 42 zur Steuerung des Motors 10 an.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur De-Sulfatierung eines einer mager betriebenen Brennkraftmaschine (10) nachgeschalteten NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) mit folgenden Verfahrensschritten:
- a) Bestimmung des Beladungszustandes des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) mit Schwefel und Vergleich der ermittelten Beladungswerte mit einem vorbestimmten ersten Schwefelbeladungsschwellenwert; 10
  - b) Überprüfung der Zulässigkeit einer De-Sulfatierung durch Überprüfung der ordnungsgemäßen Funktionsweise sicherheitsrelevanter Bauteile und/oder durch Überprüfung der aktuellen Fahrsituation auf Einhaltung vorbestimmter Fahrparameter; 15
  - c) Überprüfung, ob durch Einhaltung vorbestimmter De-Sulfatierungsparameter die Möglichkeit zur Durchführung einer De-Sulfatierung gegeben ist; 20
  - d) bei Überschreitung des ersten Schwefelbeladungsschwellenwertes und bei Zulässigkeit einer De-Sulfatierung gegebenenfalls Einstellung der erforderlichen De-Sulfatierungsparameter, falls diese noch nicht vorliegen sollten, und Einleitung einer De-Sulfatierung, während bei Unzulässigkeit einer solchen Maßnahme zunächst bis zum Vorliegen der Zulässigkeitsvoraussetzungen gewartet und/oder eine festgestellte Funktionsstörung eines der sicherheitsrelevanten Bauteile signalisiert wird; und 25
  - e) Durchführung der De-Sulfatierung bis zum Erreichen eines vorbestimmten ersten De-Sulfatierungsgrades, Einstellung normaler Betriebsbedingungen und Rückkehr zu dem Verfahrensschritt a); oder 30
  - f) vorzeitiger Abbruch oder Unterbrechung des De-Sulfatierungsvorgangs, falls die aktuellen Ergebnisse der Zulässigkeitsüberprüfung des Verfahrensschrittes b) dies erfordern; bei Unterschreitung eines vorbestimmten zweiten De-Sulfatierungsgrades Einstellung normaler Betriebsbedingungen und Rückkehr zu dem Verfahrensschritt a), ansonsten Warten bis zum erneuten Vorliegen der Zulässigkeitsvoraussetzungen und Fortsetzung des De-Sulfatierungsvorgangs gemäß Verfahrensschritt e) und/oder Signalisierung einer festgestellten Funktionsstörung eines der sicherheitsrelevanten Bauteile, 35
  - gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:
  - g) Emissionsüberwachung des aus dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (22) ausströmenden Abgases durch Messung seines Stickoxidegehaltes und Vergleich dieser Meßwerte mit einer vorbestimmten maximal zulässigen Stickoxidemission und unabhängig von der aktuellen Schwefelbeladung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22); 50
  - h) vorzeitige Einleitung einer De-Sulfatierung gemäß Verfahrensschritt d) bei Überschreitung einer vorbestimmten maximal zulässigen Abweichung oder beim Auftreten eines vorbestimmten charakteristischen Abweichmusters zwischen der vorbestimmten und der gemessenen Stickoxidemission oder 60
  - i) bei Unterschreitung der vorbestimmten Stickoxidemission um eine bestimmte Toleranz- 65

- schwelle Hinauszögern der Einleitung einer erforderlichen De-Sulfatierung gemäß Verfahrensschritt d) zumindest bis zum Überschreiten der Toleranzschwelle oder bis zum Auftreten eines vorbestimmten charakteristischen Abweichmusters.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Brennkraftmaschine (10) ein direkteinspritzender Ottomotor oder ein Dieselmotor verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Beladungszustand des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) mit Schwefel für Lambda-Werte größer oder gleich einem dem Beginn der Schwefeleinlagerung entsprechenden Lambda-Schwellenwert, und für Katalysatortemperaturen unterhalb der Entschwefelungs-Temperaturschwelle aus dem kumulierten Kraftstoffverbrauch seit der letzten De-Sulfatierung berechnet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die berechneten Werte über Korrekturkennfelder oder Korrekturkennlinien für die Katalysatortemperatur und/oder die Raumgeschwindigkeit/den Abgasmassenstrom und/oder die gespeicherte NO<sub>x</sub>-Masse und/oder die gespeicherte SO<sub>x</sub>-Masse und/oder den Lambda-Wert korrigiert werden.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei den Berechnungen vom gesetzlich maximal zulässigen Schwefelgehalt im Kraftstoff ausgegangen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die bei Lambda-Werten unterhalb dieses Lambda-Schwellenwertes und bei ausreichend hohen Katalysatortemperaturen oberhalb der Entschwefelungs-Temperaturschwelle erfolgende Schwefelentladung über das Reduktionsmittelangebot und/oder die Katalysatortemperatur, und/oder den aktuellen Schwefel-Beladungszustand, und/oder den Abgasmassenstrom, und/oder den Schwefel-Beladungszustand zu Beginn der De-Sulfatierung und/oder den Lambda-Wert berechnet wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als sicherheitsrelevante Bauteile die der Brennkraftmaschine (10) zugeordneten Einspritz-, Ansaug- und Abgaseinrichtungen überprüft werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fahrsituation aus einem Schwellenwert für den Pedalwertgeber PWG und/oder der Einspritzmenge und/oder der Drehzahl und/oder einem Schuberkennungssignal und/oder einem Bremssignal und/oder einem Drehzahlgradienten abgeleitet wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die vorbestimmten Fahrparameter eine bestimmte Mindestgeschwindigkeit, einen bestimmten Drehzahl- oder Lastbereich und einen bestimmten Bereich von Laständerungswünschen oder der PWG-Geschwindigkeit umfassen.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine De-Sulfatierung innerhalb einer vorbestimmten minimalen Erholungszeit nach der ordnungsgemäßen Beendigung oder dem vorzeitigen Abbruch bzw. der Unterbrechung des vorangegangenen De-Sulfatierungsvorgangs als unzulässig erachtet wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zum Einstel-

len des De-Sulfatierungszustandes erforderliche eigentliche Vorbereitungs- oder Aufheizzeit und die zur Durchführung der De-Sulfatierung erforderliche De-Sulfatierungsdauer bestimmt werden und daß eine Fortsetzung des De-Sulfatierungsvorgangs nach Überschreitung einer maximal zulässigen Vorbereitungszeit und/oder De-Sulfatierungsdauer als unzulässig erachtet wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der nach einer vorgezogenen De-Sulfatierung durchgeführten De-Sulfatierungen bestimmt und mit einer vorbestimmten Mindestanzahl aufeinanderfolgender De-Sulfatierungen verglichen wird, und daß beim Auftreten einer einen bestimmten Wert überschreitenden erneuten Aktivitätsabnahme des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) vor Erreichen dieser Mindestanzahl weitere De-Sulfatierungen als unzulässig erachtet werden und/oder eine entsprechende Meldung an eine der Brennkraftmaschine (10) zugeordnete OBD-Einrichtung (OBD = On-Board-Diagnose) erfolgt. 20

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die vorbestimmten De-Sulfatierungsparameter bestimmte Bereiche der Katalysatortemperatur und des Lambda-Wertes umfassen. 25

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Verfahrensschritt d) und die auf ihn folgenden Verfahrensschritte auch bereits vor Überschreitung des ersten Schwefelbeladungsschwellenwertes durchgeführt werden, wenn eine De-Sulfatierung des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) von einer der Brennkraftmaschine (10) zugeordneten OBD-Einrichtung als erforderlich erachtet wird. 30

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung der erforderlichen De-Sulfatierungsparameter erst nach Ablauf einer vorbestimmten ersten Zeitspanne und/oder nach Überschreitung zumindest eines weiteren Schwefelbeladungsschwellenwertes erfolgt. 35

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung der erforderlichen De-Sulfatierungsparameter die folgenden Maßnahmen umfaßt, die einzeln oder in Abhängigkeit vom Betriebspunkt sowie der Abgas- und Katalysatortemperatur auch in Kombination ergriffen werden können: 45

1) Homogener Betrieb mit Lambda ≈ 1 im gesamten Kennfeld.

2) Spätzündung bei homogenem Betrieb. 50

3) Anhebung der Leerlaufdrehzahl bei einem Betrieb mit Lambda ≈ 1.

4) Anhebung der Lambda-Regelamplitude und der Lambda-Regelfrequenz bei einem Betrieb mit Lambda ≈ 1. 55

5) Zylinderselektiver Mager-Fett-Betrieb bei einem Betrieb mit Lambda ≈ 1.

6) Nacheinspritzung während oder nach Brennende:

a) bei geschichtet magerem Grundbetrieb auf Lambda ≈ 1;

b) bei homogen magerem Grundbetrieb auf Lambda ≈ 1;

c) bei homogenem Betrieb mit Lambda ≈ 1 auf Lambda < 1. 60

7. Sekundärluftfeinblasung bei Lambda << 1 bei Vorhandensein einer Sekundärluftpumpe (SLP).

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekenn-

zeichnet, daß der Lambda-Sollwert während der Ermöglichung der De-Sulfatierung durch Einstellung geeigneter De-Sulfatierungsparameter ausgehend von einem Lambda-Grundwert in Abhängigkeit von der Abgastemperatur und/oder der Leerlaufdrehzahl und/oder der Einspritzmenge und dem Einspritzpunkt der Homogen-, Schicht- und Nacheinspritzung und/oder der Wobblefrequenz und der Wobbleamplitude des Lambdasignals und/oder dem Maß der Zylinderverstimmung und/oder der über eine Sekundärluftpumpe (SLP) zusätzlich eingebrachten Luftmasse und/oder der Zeit seit Überschreitung der Katalysatortemperatur, bei der die De-Sulfatierung einsetzt, über Kennlinien bzw. Kennfelder korrigiert wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß der NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (22) zum schnellen Aufheizen auf die Soll-De-Sulfatierungstemperatur so lange mit einer höheren Vorlauftemperatur erwärmt wird, bis die mittlere Temperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) der gewünschten De-Sulfatierungstemperatur entspricht.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig auf der Basis der von einem Abgastemperatursensor ermittelten Temperatur zwischen dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (22) und einem vorgeschalteten Vorkatalysator (20) die Temperatur im Vorkatalysator (20) und die Vorlauftemperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) überwacht und so geregelt werden, daß sie eine bestimmte maximal zulässige Vorkatalysatortemperatur bzw. Vorlauftemperatur nicht übersteigen.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die eigentliche Temperatur des Vorkatalysators (20) kennfeldmäßig aus der gemessenen Abgastemperatur und dem Abgasmassenstrom bestimmt wird, wobei auch die berechnete Schadstoffumsetzung auf dem Vorkatalysator (20) berücksichtigt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die tatsächlichen Rohemissionen an HC, CO, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> vor dem Vorkatalysator (20) durch multiplikative Zuschläge für die Kühlmitteltemperatur und die Drehzahl-Last-Dynamik aus einem Rohemissionskennfeld ermittelt werden.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß ab einer für die De-Sulfatierung relevanten Temperatur von mehr als 300°C von einer idealen Umsetzung der Schadstoffe von 100% ausgegangen wird, wobei Abschläge von diesem Wert durch die Raumgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

23. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die gemessene Vorlauftemperatur um die Lauflänge und die geometrische Ausführung des Vorrohrs sowie die Umströmung des Vorrohrs mit Umgebungsluft korrigiert wird.

24. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die maximal zulässige Vorlauftemperatur berechnet wird, indem von einem Rohwert die Temperaturerhöhung durch die Rest-Schadstoffkonvertierung auf dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (22) subtrahiert wird.

25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Rest-Schadstoffkonvertierung auf dem NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator (22) aus dem Schadstoff-Durchbruch durch den Vorkatalysator (20) und dem Abgasmassenstrom berechnet wird.

26. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Spätzündung bei homogenem Betrieb (Maßnahme 2) erst oberhalb einer bestimmten maxi-

malen Kühlmitteltemperatur eingeleitet wird, die über die Ansauglufttemperatur korrigiert wird.

27. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß sich das Zündwinkelvorgabe beim homogenen Betrieb nach dem spätest möglichen Zündwinkel richtet und in Abhängigkeit von der Katalysator- und/oder Abgastemperatur und/oder der Leerlaufdrehzahl und/oder der Lambda-Vorgabe über Kennlinien korrigiert wird.

28. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelfrequenz, die Regelamplitude und die Steilheit der Flanken beim Ausmagem bzw. Anfetten in Abhängigkeit von der Temperatur eines Vorkatalysators (20) und des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) geändert werden.

29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderung der Regelfrequenz und der Regelamplitude -50 bis +250% bzw. -20 bis +400% beträgt, während die Unterschiede der Steilheit der Flanken beim Ausmagem bzw. Anfeten 10 : 1 bis 1 : 10 betragen.

30. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß zur Realisierung des zylinderselektiven Mager-Fett-Betriebs bei Lambda ≈ 1 zumindest ein Ungleichförmigkeitsfaktor der Einspritzmenge definiert wird, der das maximal zulässige Maß der Verstimmung zwischen den Zylindern angibt und daß der Zündwinkel für jeden Zylinder so angepaßt wird, daß von allen Zylindern das gleiche Moment abgegeben wird.

31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß der zumindest eine Ungleichförmigkeitsfaktor kennfeldmäßig über Last und Drehzahl ermittelt und über die Temperatur der Brennkraftmaschine und die Abgastemperatur korrigiert wird.

32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß bei Annäherung an die maximal zulässige Vorkatalysator- bzw. Speicherkatalysatortemperatur eine zusätzliche Korrektur erfolgt.

33. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Zylindervertrimmung eine Maximalvertrimmung definiert wird, die über die Temperatur der Brennkraftmaschine (10), die Temperatur eines Vorkatalysators (20) und die Temperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) korrigiert wird.

34. Verfahren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Maximalvertrimmung statisch bis zu ±50% beträgt.

35. Verfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß der statische Wert um maximal ±95% von der Abweichung korrigiert wird.

36. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Nach-Einspritzmenge bei der Nach-einspritzung nach Brennende über die Differenz zwischen dem berechneten Brennraum-Lambda-Wert und einer Brennraum-Lambda-Vorgabe errechnet wird.

37. Verfahren nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, daß die Überwachung und Korrektur der errechneten Nacheinspritzmenge über den gemessenen Lambda-Wert des Abgases erfolgt, wobei der Einspritzzeitpunkt zündzeitpunkt-, mengen-, last- und drehzahlabhängig so gelegt wird, daß die zusätzlich eingebrachte Kraftstoffmenge sicher nicht mehr verbrennt, daß aber ein vollständiges Austragen im Auschubtakt möglich ist.

38. Verfahren nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermöglichung der De-Sulfatierung ein gerechnetes Lambdasignal bezogen auf den Ver-

brennungsvorgang ohne Nacheinspritzung weitergeleitet wird, falls zur Zumessung der Homogen- bzw. Schicht-Einspritzmenge eine Rückmeldung von Lambdasignalen erforderlich ist.

39. Verfahren nach einem der Ansprüche 36 bis 38, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Nacheinspritzung während des Brennendes zusätzlich eine kennfeldmäßige Korrektur der Einspritzmenge der Haupteinspritzung erfolgt.

40. Verfahren nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß die noch verbrannte Nacheinspritz-Kraftstoffmenge und der Wirkungsgrad dieses Verbrennungsanteils in Abhängigkeit vom Einspritzzeitpunkt, der Einspritzdauer, vom Zündzeitpunkt und der Drehzahl ermittelt und die Haupteinspritzmenge entsprechend reduziert wird.

41. Verfahren nach einem der Ansprüche 36 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß die Nacheinspritzung während oder nach Brennende bei homogenem Betrieb mit Lambda ≈ 1 auf Lambda < 1 durch die Einblasung von Sekundär Luft unterstützt wird.

42. Verfahren nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß der Temperaturverlauf eines Vorkatalysators (20) und des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) berücksichtigt wird, wobei neben der errechneten Temperatur auch der Temperaturgradient bei Annäherung an die jeweils zulässigen Maximaltemperaturen maßnahmeverbessernd wirken.

43. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lambda-Vorgabe während der De-Sulfatierung spätestens bei Überschreitung der Katalysatortemperatur zeitlich variiert wird, bei der eine De-Sulfatierung einsetzt.

44. Verfahren nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst ein von der Temperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) abhängiger Lambda-Grundwert festgelegt und über die aktuelle Schwefelbeladung und über die Schwefelbeladung zu Beginn des Ermöglichen der De-Sulfatierung zu einer quasi-statistischen Lambdavorgabe für die Durchführung der De-Sulfatierung korrigiert wird.

45. Verfahren nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, daß die quasi-statistische nur langsam veränderliche Lambdavorgabe mit einer in Frequenz, Amplitude und Regelform veränderbaren Schwingung überlagert wird, die abhängig ist von der Lambdavorgabe selbst, der aktuellen Schwefelbeladung, der Schwefelbeladung zu Beginn der Ermöglichen der De-Sulfatierung, der Katalysatortemperatur sowie der Abweichung zwischen gemessener und berechneter Katalysatoraktivität.

46. Verfahren nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, daß die Steilheit der Ausmagerungs- zur Anfettungsflanke 10 : 1 bis 1 : 10 beträgt.

47. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur des NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysators (22) während des De-Sulfatierungsvorgangs überwacht wird.

48. Verfahren nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, daß die Maßnahmen zur Erhöhung der Katalysatortemperatur bei Überschreitung eines während der De-Sulfatierung zumindest einzuhaltenden Schwellenwertes der Katalysatortemperatur so weit zurückgenommen werden, daß die für die De-Sulfatierung vorgegebene Soll-De-Sulfatierungstemperatur innerhalb vorbestimmter Grenzen gehalten wird.

49. Verfahren nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß die vorbestimmten Grenzen ±50 bis

$\pm 150^\circ\text{C}$  betragen.

50. Verfahren nach Anspruch 48 oder 49, dadurch gekennzeichnet, daß die Soll-De-Sulfatierungstemperatur aus der aktuellen Schwefelbeladung des NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysators (22) und der Schwefelbeladung zu Beginn des De-Sulfatierungsvorgangs berechnet wird. 5

51. Verfahren nach einem der Ansprüche 48 bis 50, dadurch gekennzeichnet, daß die Soll-De-Sulfatierungstemperatur entsprechend der ermittelten Abweichung zwischen gemessener und berechneter Katalysatoraktivität korrigiert wird. 10

52. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Katalysatortemperatur bei einer Unterbrechung des De-Sulfatierungsvorgangs durch abschwächende temperaturerhaltende Maßnahmen beibehalten und der Lambda-Wert so weit ins Magere verschoben wird, daß keine De-Sulfatierung mehr erfolgt. 15

53. Verfahren nach Anspruch 52, dadurch gekennzeichnet, daß die Katalysatortemperatur auf normale Betriebswerte abgesenkt wird, wenn der begonnene De-Sulfatierungsvorgang nicht innerhalb einer vorbestimmten zweiten Zeitspanne fortgesetzt werden kann. 20

54. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die maximale Abweichung oder das vorbestimmte charakteristische Abweichmuster zwischen der vorbestimmten und der gemessenen Stickoxidemission bei dem Verfahrensschritt h) die folgenden Abweichungen vom normalen Betriebsverhalten umfassen: 25

– Nach einer NO<sub>x</sub>-Regeneration wird zunächst eine gute NO<sub>x</sub>-Einlagerung gemessen, die Sättigung setzt jedoch schneller und stärker als berechnet ein; und/oder 30

– Nach einer NO<sub>x</sub>-Regeneration wird sofort ein stärkerer NO<sub>x</sub>-Durchbruch gemessen als nach den Berechnungen zu erwarten ist; und/oder 35

– Zu Beginn und/oder am Ende einer NO<sub>x</sub>-Regeneration treten charakteristische NO<sub>x</sub>-Emissions-peaks auf, die das Rohemissionsniveau erreichen und sogar um mehr als 100% überschreiten können. 40

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

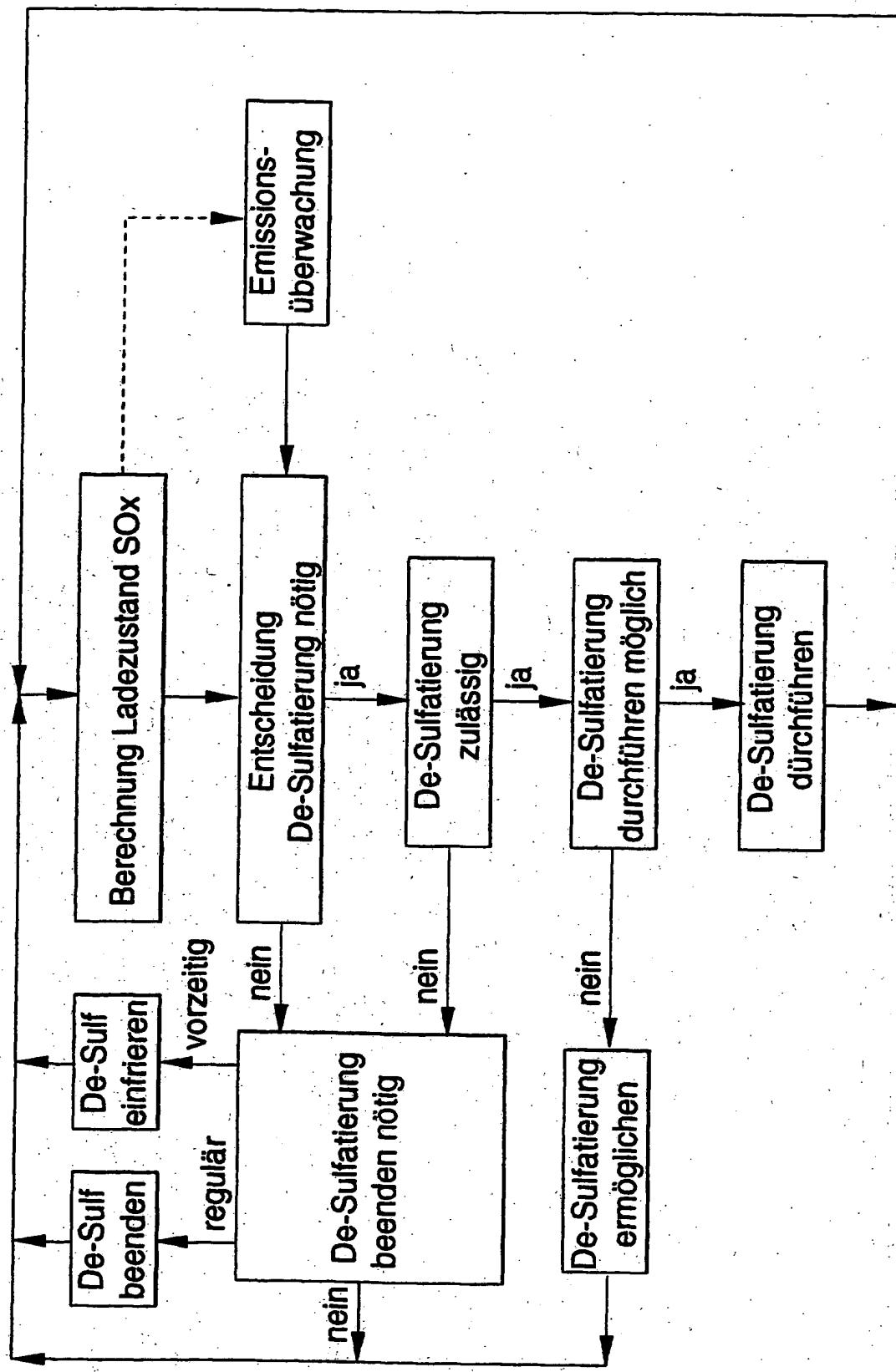


FIG. 1

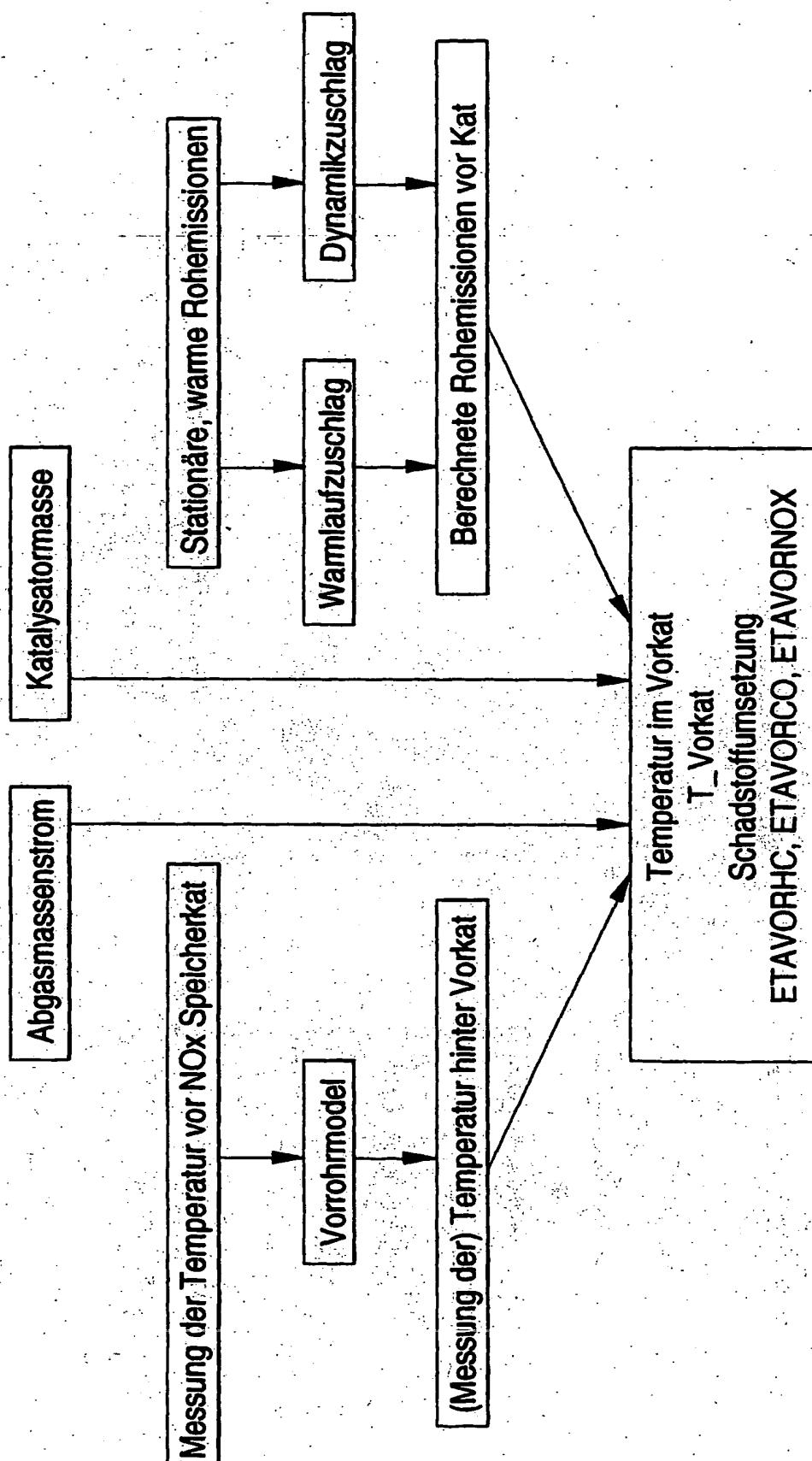


FIG. 2

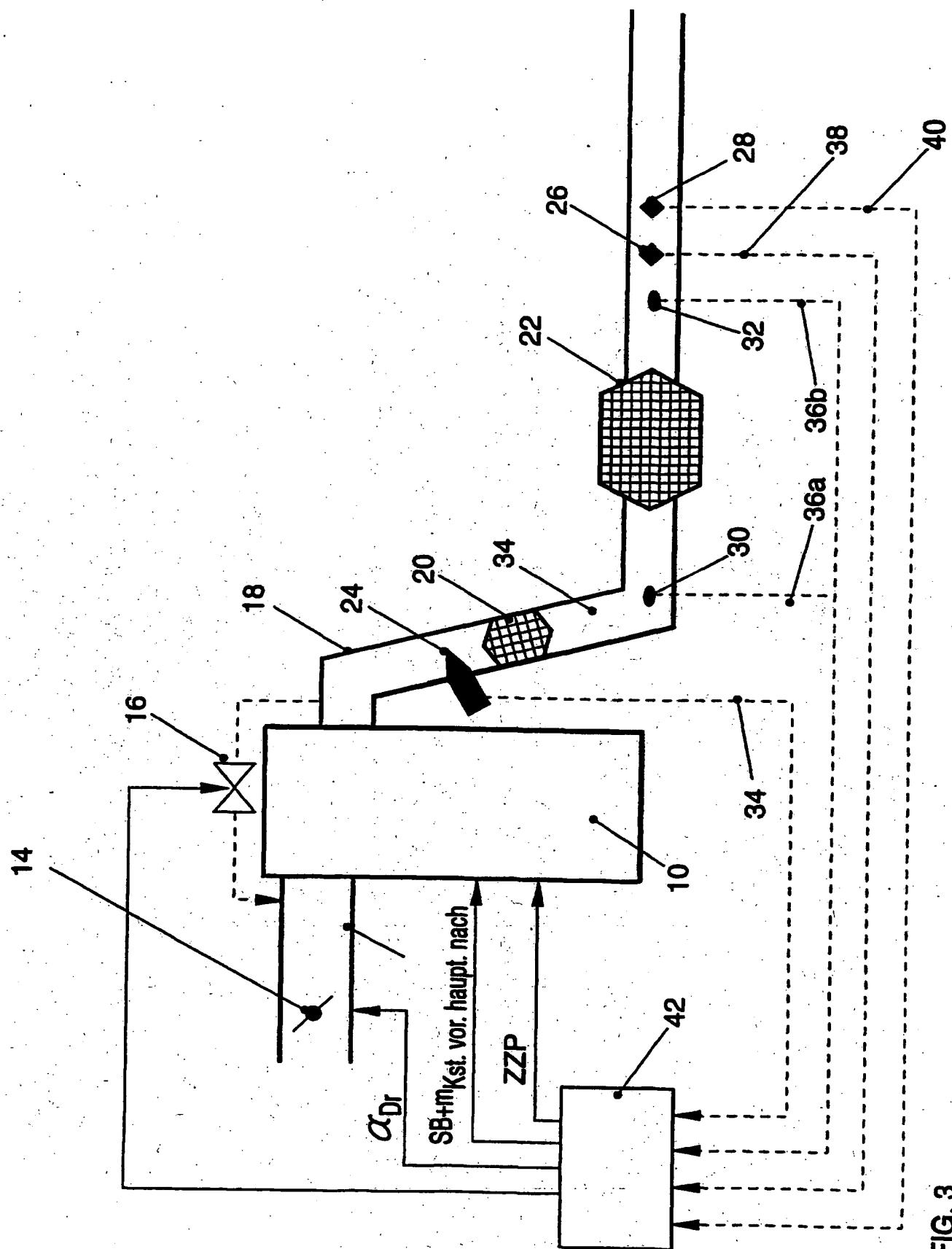


FIG. 3